

Continental Aktiengesellschaft

203-158-PDE.1/Fg

18.11.2003 Fg/ho

## Beschreibung

5

### **Verfahren zur Steuerung eines Kompressors zur Druckmittelförderung in einer Niveauregelanlage eines Kraftfahrzeuges**

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Kompressors, der zur Druckmittelförderung in einer geschlossenen Druckmittelanlage, vorzugsweise zur Druckmittelförderung in einer geschlossenen Niveauregelanlage eines Kraftfahrzeuges, geeignet ist; bei dem zumindest während des Kompressorlaufes ständig die aktuelle Kompressortemperatur bestimmt wird und der Kompressor spätestens bei Erreichen einer
- 15 Grenztemperatur abgeschaltet wird.

Ein Kompressor zur Druckmittelförderung wird in einem Kraftfahrzeug z. B. zur Steuerung bzw. Regelung einer Niveauregelanlage eingesetzt. Die Niveauregelanlage verfügt an mindestens einer der Achsen des Kraftfahrzeuges über Luftfedern, mit deren

20 Hilfe unabhängig vom Beladungszustand des Kraftfahrzeuges die Höhe des Fahrzeugaufbaus konstant gehalten werden kann, indem bei einer erhöhten Zuladung die Luftfedern mit Druckluft befüllt werden bzw. bei einer erniedrigten Zuladung Druckluft aus den Luftfedern abgelassen wird. Eine geschlossene Niveauregelanlage verfügt neben den Luftfedern über einen Druckluftspeicher und der Kompressor wird sowohl dazu

25 genutzt, zum Anheben des Fahrzeugaufbaus Druckluft aus dem Druckluftspeicher in die Luftfedern zu überführen, als auch dazu, zum Absenken des Fahrzeugaufbaus Druckluft aus den Luftfedern in den Druckluftspeicher zu überführen. Geschlossene Niveauregelanlagen für Kraftfahrzeuge sind an sich bekannt und z. B. ausführlich in der DE 199 59 556 C1 beschrieben.

30

An den Kompressor der Niveauregelanlage werden hohe Anforderungen gestellt. So wird zum Beispiel insbesondere gefordert, dass der Fahrzeugaufbau des Kraftfahrzeuges mit

Hilfe der Niveauregelanlage stark angehoben werden kann (z. B. von einem Niedrigniveau in ein Hochniveau bei einem normalen PKW oder in ein extremes Hochniveau bei einem Geländewagen). Hierbei kann es zu einer starken Erhitzung und infolgedessen zu einer Beschädigung des Kompressors kommen. Aus diesem Grunde sind bereits verschiedene

5 Temperaturmodelle zur Überwachung der Kompressortemperatur entwickelt worden, so dass der Kompressor bei Erreichen einer Grenztemperatur (bei der sichergestellt ist, dass der Kompressor noch nicht beschädigt wird) abgeschaltet werden kann. Viele dieser Temperaturmodelle (Temperaturmodelle werden im Folgenden als Verfahren bezeichnet) zeichnen sich dadurch aus, dass zur Feststellung der Kompressortemperatur auf einen

10 teuren Temperatursensor verzichtet werden kann. Entsprechende Temperaturmodelle sind zum Beispiel aus der DE 43 33 591 A1, DE 196 21 946 C1, DE 198 12 234 A1 und der EP 1 253 321 A2 bekannt.

Keines der bekannten Verfahren berücksichtigt jedoch die Besonderheit einer

15 geschlossenen Niveauregelanlage in einem Kraftfahrzeug, bei der mit Hilfe des Kompressors Druckluft sowohl aus dem Druckluftspeicher in die Luftfedern als auch von den Luftfedern in den Druckluftspeicher überführt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Steuerung eines

20 Kompressors für eine Niveauregelanlage zu schaffen, dass die Besonderheiten einer geschlossenen Niveauregelanlage berücksichtigt und somit für eine solche besonders geeignet ist.

Gemäß den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 wird die Aufgabe dadurch

25 gelöst, dass zur Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur der Vordruck (von dem ausgehend der Kompressor fördert) und der Gegendruck (gegen den der Kompressor fördert) des Kompressors berücksichtigt wird.

Der mit der Erfindung erzielte Vorteil ist insbesondere darin zu sehen, dass bei dem

30 erfindungsgemäßen Verfahren die Besonderheit einer geschlossenen Niveauregelanlage berücksichtigt wird, indem bei der Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur

während des Kompressorlaufes der Vordruck und der Gegendruck des Kompressors einfließt. Hierdurch kann auf einfache Art und Weise eine optimale Kompressorlaufzeit erreicht werden, ohne dass die Gefahr besteht, dass der Kompressor durch Überschreiten der Grenztemperatur beschädigt wird. Hierbei wird die Kompressorlaufzeit auf die  
 5 internen Druckverhältnisse innerhalb der geschlossenen Niveauregelanlage abgestellt. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur während des Kompressorlaufes ohne einen Temperatursensor erfolgt.

- 10 Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 2 wird während des Kompressorlaufes nach jeder vergangenen Zeiteinheit  $dt$  die aktuelle Kompressortemperatur um einen Temperaturwert  $dT$  angepasst, der von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zwischen dem Gegendruck und dem Vordruck abhängig ist. Der mit der Weiterbildung erreichte Vorteil ist darin zu sehen, dass eine besondere gute Ausschöpfung  
 15 der Kompressorlaufzeit bis zum Erreichen der Grenztemperatur durch die Berücksichtigung der Differenz zwischen dem Gegendruck und dem Vordruck des Kompressors gewährleistet ist. Ist beispielsweise die Differenz klein oder nahezu 0 (entspricht also der Vordruck ungefähr dem Gegendruck), so kann der Kompressor der geschlossenen Druckmittelanlage ohne große Leistungsaufnahme fördern, so dass er sich  
 20 nur langsam erhitzt. Demnach wird in diesem Fall die aktuelle Kompressortemperatur nach jeder vergangenen Zeiteinheit nur um einen kleinen Temperaturwert angepasst und es kommt bis zum Erreichen der Grenztemperatur zu einer vergleichsweise langen Kompressorlaufzeit: Ist hingegen die genannte Differenz positiv und groß, so wird von dem Kompressor eine hohe Leistung abgefordert, so dass er sich auch stark erhitzt. In  
 25 diesem Fall wird die aktuelle Kompressortemperatur nach jeder vergangenen Zeiteinheit um einen größeren Temperaturwert als in dem zuerst genannten Fall angepasst, so dass die Grenztemperatur schneller erreicht wird, als bei einer kleinen Differenz.

- Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 3 ist der funktionale  
 30 Zusammenhang zwischen dem Temperaturwert  $dT$  und der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  als Kennfeld in einer Steuereinheit für den Kompressor hinterlegt. Der Vorteil dieser

Weiterbildung ist darin zu sehen, dass auf einfache Art und Weise der Temperaturwert  $dT$ , um den die aktuelle Kompressortemperatur angepasst wird, in Abhängigkeit von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  aus dem Kennfeld ausgelesen werden kann. Ein weiterer Vorteil dieser Weiterbildung ist darin zu sehen, dass für jede mögliche Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  ein dazugehöriger Temperaturwert  $dT$  hinterlegt werden kann und somit eine besondere genaue Anpassung der aktuellen Kompressortemperatur möglich ist. Hierdurch wird eine optimale Ausnutzung der Kompressorlaufzeit bis zum Erreichen der Grenztemperatur erzielt.

- 10 Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 4 wird in Abhängigkeit von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die zu Beginn des Kompressorlaufes vorliegt, ein fester Temperaturwert  $dT$  vorgegeben. Der Vorteil dieser Weiterbildung ist insbesondere darin zu sehen, dass die Differenz nur ein einziges Mal zu Beginn des Kompressorlaufes bestimmt werden muss. Eine Bestimmung der Differenz während des Kompressorlaufes entfällt. Ein weiterer Vorteil dieser Weiterbildung ist darin zu sehen, dass nur ein einziger Temperaturwert  $dT$  vorgegeben wird, der dann während des gesamten Kompressorlaufes zur Anpassung der aktuellen Kompressortemperatur benutzt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit besonders einfach und mit geringen Rechenkapazitäten in der Steuereinheit des Kompressors durchführbar. Somit kann eine einfach ausgebildete
- 20 Steuereinheit benutzt werden.

- Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 5 gibt man bei einer Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die größer als 0 ist, den Temperaturwert  $dT_{\text{max}}$  vor, der der maximal in der geschlossenen Druckmittelanlage möglichen Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zugeordnet ist. Der Vorteil dieser Weiterbildung wird verständlich, wenn man das Folgende bedenkt: Bei der maximal möglichen Differenz müsste der Kompressor während der Druckmittelförderung mit maximaler Leistung fördern. Somit würde bei der maximalen möglichen Differenz während des Kompressorlaufes die stärkste Temperaturerhöhung stattfinden, so dass auch der vorgegebene Temperaturwert  $dT$  dem maximal möglichen Temperaturwert  $dT$  entsprechen würde. Bei einer Differenz, die kleiner ist als die maximal mögliche Differenz in dem System, ist die tatsächliche Temperaturerhöhung des Kompressors während des
- 25
- 30

Kompressorlaufes mit Sicherheit niedriger. Mit der Weiterbildung wird also der Vorteil erreicht, dass nur ein einziges Mal ein Temperaturwert  $dT$  vorgegeben wird und dennoch sichergestellt ist, dass die tatsächliche Kompressortemperatur langsamer steigt als die berechnete Kompressortemperatur. Dementsprechend ist auf einfache Art und Weise  
 5 sichergestellt, dass die Grenztemperatur des Kompressors während des Kompressorlaufes nicht überschritten wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 6 gibt man bei einer Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die kleiner oder gleich 0 ist, den Temperaturwert  $dT$  vor, der der Differenz  
 10  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  gleich 0 zugeordnet ist. Durch diese Weiterbildung werden die analogen Vorteile für eine Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  erreicht, die im Zusammenhang mit Anspruch 5 erläutert worden sind (Näheres s. Figurenbeschreibung).

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 7 wird zu Beginn des  
 15 Kompressorlaufes eine maximale Laufzeit für den Kompressor vorgegeben. Die maximale Laufzeit wird so vorgegeben, dass die Grenztemperatur nach Ablauf der maximalen Laufzeit mit Sicherheit noch nicht erreicht ist. Durch diese Weiterbildung wird der Vorteil erreicht, dass ein Abschalten des Kompressors vor Erreichen der Grenztemperatur auch dann gewährleistet ist, wenn die Kompressortemperatur durch einen  
 20 Fehler in der Niveauregelanlage (z. B. durch Rechenfehler in der Steuereinheit der Niveauregelanlage) nicht oder falsch berechnet wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 8 wird bei der Vorgabe eines Temperaturwertes  $dT$  zusätzlich die Fahrtgeschwindigkeit des Kraftfahrzeuges  
 25 berücksichtigt. Der Weiterbildung liegt der Gedanke zugrunde, dass mit zunehmender Fahrtgeschwindigkeit das Kraftfahrzeug und somit auch der Kompressor der Niveauregelanlage durch den Fahrtwind gekühlt wird. Somit können mit zunehmender Fahrtgeschwindigkeit der oder die Temperaturwerte  $dT$  verringert werden.

30 Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 9 wird bei der Vorgabe eines Temperaturwertes  $dT$  zusätzlich die elektrische Kompressorspannung berücksichtigt. Der

Weiterbildung liegt der Gedanke zugrunde, dass sich mit wachsender elektrischer Kompressorspannung der Volumenstrom des Druckmittels in dem Kompressor erhöht und somit die erzeugte Wärme in dem Kompressor ansteigt. Mit der Weiterbildung wird der Vorteil erreicht, dass dieser Anstieg bei der Vorgabe des Temperaturwertes  $dT$

5 berücksichtigt wird.

Ein Ausführungsbeispiel und weitere Vorteile der Erfindung werden im Zusammenhang mit den nachfolgenden Figuren erläutert, darin zeigt:

Fig. 1 eine geschlossene Niveauregelanlage in schematischer Darstellung,

10 Fig. 2 ein Diagramm,

Fig. 3 ein Diagramm,

Fig. 4 ein Diagramm,

Fig. 5 ein Diagramm.

15 Figur 1 zeigt eine geschlossene Niveauregelanlage in schematischer Darstellung mit einem Kompressor 2, einem Druckluftspeicher 4 und Luftfedern 6a bis 6d, mit denen der Aufbau eines Kraftfahrzeuges gegenüber seinen Achsen federnd gelagert wird. Zum Auffüllen einer der Luftfedern 6a bis 6d (z. B. der Luftfeder 6a) wird mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 über die schaltbaren Wegeventile 8, 10 und 12a

20 überführt. Die schaltbaren Wegeventile 8 und 10 nehmen dabei die in der Figur 1 gezeigte Schaltposition ein, das Wegeventil 12a wird in seine zweite Schaltposition überführt. Es ist ebenfalls möglich, mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus den Luftfedern 6a bis 6d in den Druckluftspeicher 4 zu überführen. In diesem Fall werden die schaltbaren Wegeventile 8, 10 und 12a angesteuert, so dass sie in ihre andere Schaltposition

25 übergehen. Eine derartige geschlossene Niveauregelanlage ist an sich bekannt und z. B. ausführlich in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise in der DE 199 59 556 C1 beschrieben.

Wenn mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 in eine oder

30 mehrere der Luftfedern 6a bis 6d überführt wird, verändert sich während des Kompressorlaufes die Kompressortemperatur. Das Gleiche gilt, wenn mit Hilfe des

- Kompressors 2 Druckluft aus einer oder mehrerer der Luftfedern 6a bis 6d in den Kompressor 4 überführt wird. Es muss sichergestellt werden, dass der Kompressor 2 eine bestimmte Grenztemperatur nicht überschreitet, damit er nicht beschädigt wird. Aus diesem Grunde wird erfindungsgemäß während des Kompressorlaufes in der (nicht gezeigten) Steuereinheit der Niveauregelanlage die Kompressortemperatur ständig überwacht und der Kompressor 2 spätestens bei Erreichen einer Grenztemperatur abgeschaltet (der Kompressor 2 wird früher abgeschaltet, falls der Regelvorgang vor Erreichen der Grenztemperatur beendet ist; dies ist dann der Fall, wenn der Fahrzeugaufbau das gewünschte Sollniveau erreicht hat). Bei der Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur wird der Vordruck und der Gegendruck des Kompressors 2 berücksichtigt. Hierbei entspricht der Luftdruck in dem Druckluftspeicher 4 dem Vordruck und der Luftdruck in den Luftfedern 6a bis 6d, in die gefördert wird, dem Gegendruck, wenn mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 in die Luftfedern 6a bis 6d überführt wird. Umgekehrt handelt es sich bei dem Luftdruck in den Luftfedern 6a bis 6d, aus denen gefördert wird, um den Vordruck, und bei dem Luftdruck in den Druckluftspeicher 4 um den Gegendruck, wenn mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus den Luftfedern 6a bis 6d in den Druckluftspeicher 4 überführt wird.
- Anhand der Figuren 2 bis 5 wird erläutert, wie die Kompressortemperatur während des Kompressorlaufes unter Berücksichtigung des Vordruckes und des Gegendruckes überwacht wird. Bei der Überwachung der Kompressortemperatur während des Kompressorlaufes wird davon ausgegangen, dass die aktuelle Kompressortemperatur zu Beginn des Kompressorlaufes bekannt ist. So entspricht diese aktuelle Kompressortemperatur der Umgebungstemperatur, wenn mit Hilfe des Kompressors eine bestimmte zeitlang keine Regelung in der Niveauregelanlage vorgenommen wurde und sich der Kompressor somit auf die Umgebungstemperatur abkühlen konnte. Falls eine vollständige Abkühlung des Kompressors nach einem vorherigem Regelvorgang nicht erfolgen konnte (weil der Zeitraum bis zum nächsten Regelvorgang zu kurz ist), so ergibt sich die aktuelle Kompressortemperatur zu Beginn des neuen Regelvorganges wie folgt: Aus der vorherigen Regelung ist aufgrund der ständigen Überwachung der

Kompressortemperatur diejenige Kompressortemperatur bekannt, die der Kompressor zum Abschluss der Regelung aufweist. Nach Abschluss der letzten Regelung wird in der Steuereinheit der Niveauregelanlage gemessen, wieviel Zeit seit der letzten Regelung vergangen ist. Für die verstrichene Zeit wird eine bestimmte Abkühlung des Kompressors angenommen, so dass sich für jeden zeitlichen Verlauf die aktuelle Kompressortemperatur des nicht laufenden Kompressors ergibt.

Figur 2 zeigt ein Diagramm, in dem die Temperatur  $T$  über der Zeit  $t$  ausgetragen ist. Dem Diagramm ist eine erste Kennlinie 14 für einen ersten Regelvorgang zu entnehmen. Der Regelvorgang beginnt zum Zeitpunkt  $t = 0$  und zu diesem Zeitpunkt möge die aktuelle Kompressortemperatur der Umgebungstemperatur  $T_u$  entsprechen (d. h. der letzte Regelvorgang ist solange her, dass der Kompressor sich auf diese Umgebungstemperatur abkühlen konnte). Ferner wird für den Regelvorgang davon ausgegangen, dass während des Regelvorganges der Vordruck kleiner ist als der Gegendruck. In diesem Fall ist die Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} > 0$ , so dass sich der Kompressor während des Kompressorlaufes erwärmen wird. Dies gibt die Kennlinie 14 auch bereits qualitativ wieder, da die Temperatur  $T$  des Kompressors 2 mit wachsender Zeit  $t$  ansteigt. Im Folgenden wird erläutert, wie der Temperaturanstieg erfindungsgemäß bestimmt wird: Zum Zeitpunkt  $t = 0$  ist die Kompressortemperatur  $T = T_u$ . Nach einer Zeiteinheit  $dt$  (also zur Zeit  $t = dt$ ) wird die Kompressortemperatur  $T_u$  um einen Temperaturwert  $dT_1$  angepasst, wobei  $dT_1$  in seiner Größe von  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  abhängig ist. Die aktuelle Kompressortemperatur zum Zeitpunkt  $t = dt$  ergibt sich demnach aus  $T = T_u + dT_1$ . Nach einer weiteren Zeiteinheit  $dt$  ( $t = 2 dt$ ) wird die aktuelle Kompressortemperatur zu diesem Zeitpunkt wiederum um einen Wert  $dT_2$  angepasst, der ebenfalls von  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zu diesem Zeitpunkt abhängig ist. Die aktuelle Kompressortemperatur zu diesem Zeitpunkt ergibt sich also aus  $T = T_u + dT_1 + dT_2$ . Zu einem beliebigen Zeitpunkt ergibt sich also die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  wie folgt:

$$T = T_u + dT_1 + dT_2 + \dots + dT_n,$$



wobei „n“ für die Anzahl der vergangenen Zeiteinheiten steht. Jeder der Werte  $dT_1$  bis  $dT_n$  ist abhängig von der Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zu dem entsprechenden Zeitpunkt.

Wenn die wie oben erläutert berechnete Kompressortemperatur  $T$  vor Beendigung des  
 5 aktuellen Regelvorganges einen Grenzwert  $T_{\text{grenz}}$  erreicht, wird der Kompressor  
 abgeschaltet, damit er nicht aufgrund einer Überhitzung beschädigt wird. Der durch die  
 Kennlinie 14 dargestellte Regelvorgang ist jedoch zum Zeitpunkt  $t = 4 \text{ dt}$  beendet (der  
 Fahrzeugaufbau hat also bereits das Sollniveau erreicht), zu dem die aktuelle Temperatur  
 noch weit unterhalb der Grenztemperatur  $T_{\text{grenz}}$  liegt, wie es auch der Figur 2 zu entnehmen  
 10 ist.

Der Figur 2 ist eine weitere Kennlinie 16 für einen weiteren Regelvorgang in der  
 Niveauregelanlage zu entnehmen. Auch bei dem Regelvorgang gemäß der Kennlinie 16  
 wird davon ausgegangen, dass während des Regelvorganges die Differenz  $dp > 0$  ist, d. h.  
 15 der Gegendruck ist größer als der Vordruck. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  weist der Kompressor  
 eine Temperatur auf, die oberhalb von  $T_u$  liegt, d. h. der Kompressor hatte nach dem  
 letzten Regelvorgang in der Niveauregelanlage nicht die Möglichkeit, sich vollständig auf  
 die Umgebungstemperatur abzukühlen. Ausgehend von dieser aktuellen  
 Kompressortemperatur zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird während des Kompressorlaufes (d. h.  
 20 während des Regelvorganges) die aktuelle Kompressortemperatur zu einem beliebigen  
 Zeitpunkt so berechnet, wie es oben erläutert worden ist. Zum Zeitpunkt  $t = t_{\text{grenz}}$  erreicht  
 die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  den Temperaturgrenzwert  $T_{\text{grenz}}$  und der Kompressor  
 wird abgeschaltet, auch wenn der Regelvorgang zu diesem Zeitpunkt noch nicht  
 abgeschlossen sein sollte. Damit wird einer Überhitzung des Kompressors wirksam  
 25 vorgebeugt.

Figur 3 zeigt ein Diagramm, in dem  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  über dem Temperaturwert  $dT$   
 aufgetragen ist. Dem Diagramm ist eine Kennlinie 18 zu entnehmen, die den  
 Zusammenhang zwischen  $dp$  und  $dT$  für alle Werte von  $dp > 0$  wiedergibt. Eine  
 30 entsprechende Kennlinie ist in der Steuereinheit der Niveauregelanlage gespeichert und im  
 Folgenden wird erläutert, wie mit Hilfe einer solchen Kennlinie 18 die Temperaturwerte

$dT_1$  bis  $dT_n$  (s. auch Figurenbeschreibung zu Figur 2) bestimmt werden können. Zum Zeitpunkt  $dt$  (s. Figur 2) möge  $dp = dp_1$  sein. Aus der Kennlinie 18 kann dann das dazugehörige  $dT_1$  abgelesen werden. Entsprechend wird für die Werte  $dp_2, dp_3, dp_4, \dots, dp_n$  vorgegangen. Zur Berechnung von  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zu einem bestimmten Zeitpunkt  
 5 kann beispielsweise mit Hilfe von Drucksensoren 20, 22 (s. Figur 1) der aktuelle Vordruck und der aktuelle Gegendruck des Kompressors 2 gemessen werden.

Bei den Erläuterungen im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 wurde davon ausgegangen, dass der Gegendruck während der erläuterten Regelvorgänge größer ist als  
 10 der Vordruck, so dass  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} > 0$  ist. Es ist jedoch ebenfalls möglich, dass während eines Regelvorganges der Gegendruck kleiner als der Vordruck ist, so dass  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} < \text{Null}$  ist. Auch für derartige Regelvorgänge ist in der Steuereinheit der Niveauregelanlage eine Kennlinie 18 entsprechende Kennlinie gespeichert, aus der die Temperaturwerte  $dT$  entsprechend den oberen Erläuterungen bestimmt werden können.

15

Figur 4 zeigt ein Diagramm, in dem ebenfalls die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  über der Zeit  $t$  aufgetragen ist. Dem Diagramm ist eine erste Kennlinie 24 für einen Regelvorgang zu entnehmen. Zum Zeitpunkt  $t = 0$ , also zu Beginn des Regelvorganges, möge die aktuelle Kompressortemperatur  $T = T_u$  sein. Darüber hinaus möge zu Beginn des  
 20 Regelvorganges ( $t = 0$ ) der Gegendruck für den Regelvorgang größer als der Vordruck sein, so dass die Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} > 0$  ist (dies ist z. B. der Fall, wenn mit Hilfe des Kompressors 2 (s. Fig. 1) Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 in ein oder mehrere der Luftfedern 6a, ..., 6d überführt werden soll und der Luftdruck in diesem größer ist als im Druckluftspeicher 4). In diesem Fall wird sich der Kompressor während des  
 25 Regelvorganges erwärmen, d. h. die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  ist während des Regelvorganges um positive Temperaturwerte  $dT$  zu erhöhen. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird für den gesamten Regelvorgang gemäß der Kennlinie 24 ein einziger Temperaturwert  $dT_{\text{max}}$  festgelegt, um den sich innerhalb einer Zeiteinheit  $dt$  der Kompressor erwärmen würde, wenn die Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  den im System maximal möglichen Wert  
 30 annehmen würde, d. h. der Gegendruck sein zulässiges Maximum und der Vordruck sein zulässiges Minimum aufweisen würde. In diesem Fall würde sich der Kompressor während

einer Zeiteinheit  $dt$  maximal erwärmen, für alle anderen, kleineren Werte von  $dp$  wäre die Erwärmung des Kompressors geringer. Der so festgelegte Temperaturwert  $dT_{\max}$  wird nach jeder Zeiteinheit  $dt$  zum aktuellen Temperaturwert  $T$  des Kompressors hinzu addiert, so dass sich dieser ergibt:

5

$$T = T_u + n \times dT_{\max},$$

wobei „ $n$ “ der Anzahl der verstrichenen Zeiteinheiten entspricht. Der Regelvorgang wird abgebrochen, wenn die berechnete aktuelle Kompressortemperatur, die gemäß der

10 Kennlinie 24 berechnet wird, den Temperaturwert  $T_{\text{grenz}}$  erreicht, und zwar auch dann, wenn der Regelvorgang noch nicht abgeschlossen ist. Somit ist einer Beschädigung des Kompressors durch Überhitzung sicher vorgebeugt. Durch die einmalige Festlegung des Temperaturwertes  $dT_{\max}$  für den Fall, dass  $dp$  zu Beginn des Regelvorganges größer als 0 ist, wird der Vorteil erreicht, dass nur zu Beginn des aktuellen Regelvorganges (d. h. zum

15 Zeitpunkt  $t = 0$ ) festgestellt werden muss, dass  $dp$  größer als 0 ist. Danach brauchen während des Regelvorganges keine Bestimmungen von  $dp$  und somit keine Druckmessungen mehr vorgenommen zu werden.

Der Figur 4 ist eine weitere Kennlinie 26 zu entnehmen, bei der die aktuelle

20 Kompressortemperatur genauer berechnet wird, und zwar so wie es bereits im Zusammenhang mit der Figur 2 im Zusammenhang mit der Kennlinie 14 erläutert worden ist. Die Kennlinie 26 verläuft zwangsläufig unterhalb der Kennlinie 24, da bei der Kennlinie 24 vom maximal möglichen Temperaturanstieg im Kompressor und bei der Kennlinie 26 von dem tatsächlichen Temperaturanstieg im Kompressor ausgegangen wird,

25 der kleiner oder gleich dem maximal möglichen Temperaturanstieg ist. Dies bedeutet, dass durch die einfache Berechnungsmethode der aktuellen Kompressortemperatur gemäß der Kennlinie 24 eine hohe Sicherheit gewährleistet ist.

Es ist möglich, zusätzlich zu der Grenztemperatur  $T_{\text{grenz}}$  eine maximale Laufzeit  $t_{\max}$  für

30 den Kompressor festzulegen, die so gewählt wird, dass der Kompressor zu diesem Zeitpunkt sicher noch eine Temperatur unterhalb der Grenztemperatur  $T_{\text{grenz}}$  aufweist. Der

Regelvorgang kann nach Ablauf der Zeitspanne  $T_{\max}$  abgebrochen werden. In diesem Fall ist einer Überhitzung des Kompressors durch eine einfache Zeitmessung auch für den Fall sicher vorgebeugt, dass die aktuelle Kompressortemperatur aufgrund eines Fehler in der Steuereinheit der Niveauregelanlage etc. nicht richtig berechnet wird.

5

Figur 5 zeigt ein Diagramm, bei dem ebenfalls die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  über der Zeit  $t$  aufgetragen ist. Im Gegensatz zu Figur 4 wird bei dem Diagramm gemäß Figur 5 jedoch davon ausgegangen, dass der Gegendruck zu Beginn des Regelvorganges kleiner ist als der Vordruck oder diesem entspricht, so dass die Differenz  $d = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} < 0$  ist. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der Kompressor 2 (s. Figur 1) von dem Druckluftspeicher 4 in mindestens eine der Luftfedern 6a bis 6d fördert und hierbei der Luftdruck in den Luftfedern 6a bis 6d kleiner ist als im Druckluftspeicher 4. Dies ist ebenfalls dann der Fall, wenn mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus mindestens einer der Luftfedern 6a bis 6d in dem Druckluftspeicher 4 überführt wird und der Luftdruck in dem Druckluftspeicher 4 kleiner ist als in den Luftfedern 6a bis 6d. Für den Fall, dass die Differenz  $dp < 0$  ist, erwärmt sich der Kompressor während des Kompressorlaufes nur schwach (dies ist dann der Fall, wenn die Differenz  $dp$  ungefähr gleich Null ist) bzw. wird evtl. sogar abgekühlt (dies kann dann der Fall sein, wenn  $dp$  deutlich kleiner ist als 0). Es ist also für alle Fälle, bei denen zu Beginn des Kompressorlaufes  $dp < 0$  ist, möglich, bei der Berechnung der aktuellen Kompressortemperatur  $T$  während des Kompressorlaufes davon auszugehen, dass der Kompressor sich pro Zeiteinheit nur schwach um einen Wert  $dT_{\min}$  erwärmt. Aus diesem Grunde kann zu der aktuellen Kompressortemperatur  $T$ , die der Kompressor während eines bestimmten Zeitpunktes hatte, nach Ablauf einer Zeiteinheit zu dieser Erwärmung gehörende Temperaturwert  $dT_{\min}$  hinzuaddiert werden, um die aktuelle Kompressortemperatur  $T$  zu dem späteren Zeitpunkt abzuschätzen. Entsprechend wird nach jeder Zeiteinheit vorgegangen, so dass sich für die abgeschätzte Kompressortemperatur  $T$  die in der Figur 5 gezeigte Kennlinie 28 in Form einer Geraden ergibt. Falls die Kompressortemperatur  $T$  gemäß der Kennlinie 28 vor Beendigung des Regelvorganges die Grenztemperatur  $T_{\text{grenz}}$  erreicht, wird der Kompressor abgeschaltet, so einer Überhitzung des Kompressors sicher vorgebeugt ist.

30

Der Figur 5 ist eine weitere Kennlinie 30 zu entnehmen, wie die tatsächliche Temperaturerwärmung des Kompressor für eine Fall wiedergibt, in dem die Differenz  $dp$  deutlich kleiner als 0 ist. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Kennlinie 30 zu jedem Zeitpunkt  $T$  unterhalb der Kennlinie 28 verläuft, nach der immer geregelt wird, wenn die Differenz  $dp < 0$  ist. Durch die einfache Regelung gemäß der Kennlinie 28 ist also für alle Fälle, in denen die Differenz  $dp < 0$  ist, sichergestellt, dass der Kompressor sich nicht über die Grenztemperatur  $T_{\text{grenz}}$  hinaus erwärmt.

Die Regelungen, die im Zusammenhang mit den Figuren 4 und 5 erläutert worden sind, haben den Vorteil, dass außerschießlich zu Beginn der Regelung die Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  bestimmt werden muss. In Abhängigkeit davon, ob  $dp >$  oder  $<$  gleich 0 ist, wird ein Temperaturwert  $dT$  festgelegt, der über die ganze Regelung beibehalten wird. Der Gegendruck und der Vordruck kann zu Beginn des Regelvorganges mit Hilfe der in der Figur 1 gezeigten Drucksensoren 20, 22 bestimmt werden. Alternativ ist es möglich, den Gegendruck und den Vordruck und damit die Differenz  $dp$  mit Hilfe eines einzigen Drucksensors 32 auf einfache Art und Weise zu bestimmen, was im Folgenden erläutert wird (s. auch Fig. 1). Nehmen wir an, der Fahrzeugaufbau des Kraftfahrzeuges soll an der Vorderachse angehoben werden, so dass mit Hilfe des Kompressors 2 die Luftfedern 6a und 6b mit Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 befüllt werden müssen. Während des Regelvorganges wird mit Hilfe von in der Figur 1 nicht gezeigten Höhensensoren ständig das aktuelle Niveau des Fahrzeugaufbaus überwacht. Der Regelvorgang ist beendet, wenn das aktuelle Niveau des Fahrzeugaufbaus das Sollniveau erreicht hat. Kurz vor Erreichen des Sollniveaus wird mit Hilfe des Drucksensors 32 der Luftdruck in den Luftfedern 6a und 6b gemessen. Dazu wird mit Hilfe des Drucksensors 32 der Luftdruck in dem Punkt 34 bestimmt, der dem Luftdruck in den Luftfedern 6a und 6b entspricht. Zusätzlich wird das Volumen in den Luftfedern 6a und 6b mit Hilfe des Signals der Höhensensoren in an sich bekannter Art und Weise bestimmt. Die Luftmenge in den Luftfedern 6a und 6b ergibt sich dann aus dem Produkt des Luftdruckes in diesen Luftfedern 6a, 6b und dem Volumen der Luftfedern 6a, 6b. Bei dem vorherigen Regelvorgang an den Luftfeder 6c, 6d der Hinterachse des Kraftfahrzeuges (das Kraftfahrzeug wird immer wechselseitig an der Vorderachse und der Hinterachse geregelt, um ein vorgegebenes Sollniveau zu erreichen)

ist auf die gleiche Art und Weise die Luftmenge in den Luftfedern 6c, 6d bestimmt worden.

Die Luftmenge in dem Speicher 4 ergibt sich dann daraus, dass man von der Gesamtluftmenge der Niveauregelanlage (die bekannt ist, da es sich um eine geschlossene Niveauregelanlage handelt) die Luftmenge in den Luftfedern 6a, 6b der Vorderachse und in den Luftfedern 6c, 6d der Hinterachse abzieht. Der Druck in dem Druckluftspeicher 4 ergibt sich dann daraus, dass man die so ermittelte Luftmenge durch das bekannte Volumen des Druckluftspeichers 4 teilt.

10

Nach Abschluss der Regelung an den Luftfedern 6a, 6b der Vorderachse sind in der Steuereinheit der Niveauregelanlage also die Luftdrücke in den Luftfedern 6a, 6b der Vorderachse, den Luftfedern 6c, 6d der Hinterachse und in dem Druckluftspeicher 4 bekannt. Bei dem folgenden Regelvorgang an den Luftfedern 6c, 6d der Hinterradachse kann dann also die Differenz  $dp = p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  bestimmt werden. Für den Fall, dass mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus dem Druckluftspeicher 4 in die Luftfedern 6c, 6d überführt werden muss, ergibt sich  $dp$  aus der Differenz  $p_{\text{(Luftfedern 6a, 6d)}} - p_{\text{(Druckluftspeicher 4)}}$ . Für den Fall, dass Druckluft aus den Luftfedern 6c, 6d abgelassen werden muss, wird mit Hilfe des Kompressors 2 Druckluft aus diesen in den Druckluftspeicher 4 überführt. In diesem Fall ergibt sich die Differenz  $dp$  aus  $p_{\text{(Druckluftspeicher 4)}} - p_{\text{(Luftfedern 6c, 6d.)}}$

20

**Bezugszeichenliste**

(Teil der Beschreibung)

5

	2	Kompressor
	4	Druckluftspeicher
	6a, ..., 6d	Luftfeder
10	8, 10, 12a, ..., 12d	Schaltbares Wegeventil
	14, 16, 18	Kennlinie
	20, 22	Drucksensor
	24, 26, 28, 30	Kennlinie
	32	Drucksensor

15

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2), der zur Druckmittelförderung in einer geschlossenen Druckmittelanlage, vorzugsweise zur Druckmittelförderung in einer geschlossenen Niveauregelanlage eines Kraftfahrzeuges, geeignet ist, bei dem zumindest während des Kompressorlaufes ständig die aktuelle Kompressortemperatur bestimmt wird und der Kompressor (2) spätestens bei Erreichen einer Grenztemperatur  
10 abgeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur der Vordruck und der Gegendruck des Kompressors (2) berücksichtigt wird.
2. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach Anspruch 1, dadurch  
15 gekennzeichnet, dass während des Kompressorlaufes nach jeder vergangenen Zeiteinheit  $dt$  die aktuelle Kompressortemperatur um einen Temperaturwert  $dT$  angepasst wird, der von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zwischen dem Gegendruck und dem Vordruck abhängig ist.
- 20 3. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der funktionale Zusammenhang zwischen dem Temperaturwert  $dT$  und der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  als Kennfeld in einer Steuereinheit für den Kompressor (2) hinterlegt ist.
- 25 4. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die zu Beginn des Kompressorlaufes vorliegt, ein fester Temperaturwert  $dT$  vorgegeben wird.
- 30 5. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass man bei einer Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die größer als Null ist, den



Temperaturwert  $dT$  vorgibt, der der maximal möglichen Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zugeordnet ist.

6. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach Anspruch 4, dadurch  
 5 gekennzeichnet, dass man bei einer Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$ , die kleiner oder gleich Null ist, den Temperaturwert  $dT$  vorgibt, der der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}} = \text{Null}$  zugeordnet ist.
7. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
 10 dadurch gekennzeichnet, dass zu Beginn des Kompressorlaufes eine maximale Laufzeit für den Kompressor (2) vorgegeben wird.
8. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach einem der Ansprüche 2 bis 7,  
 15 dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorgabe eines Temperaturwertes  $dT$  zusätzlich die Fahrtgeschwindigkeit des Kraftfahrzeuges berücksichtigt wird.
9. Verfahren zur Steuerung eines Kompressors (2) nach einem der Ansprüche 2 bis 8,  
 20 dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorgabe eines Temperaturwertes  $dT$  zusätzlich die elektrische Kompressorspannung berücksichtigt wird.
10. Bedarfsabhängig ein- und ausschaltbarer Kompressor (2) für eine geschlossene  
 25 Druckmittelanlage, vorzugsweise eine geschlossene Niveauregelanlage eines Kraftfahrzeuges, dem eine Steuereinheit zugeordnet ist, die zumindest während des Kompressorlaufes ständig die aktuelle Kompressortemperatur bestimmt und den Kompressor (2) spätestens bei Erreichen einer gespeicherten Grenztemperatur abgeschaltet, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Steuergerätes ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchgeführt wird.

## 5 Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Kompressors 2 in einer geschlossenen Niveauregelanlage, bei dem zumindest während des Kompressorlaufes  
10 ständig die aktuelle Kompressortemperatur bestimmt wird und der Kompressor 2 spätestens bei Erreichen einer Grenztemperatur abgeschaltet wird, sobald zur Bestimmung der aktuellen Kompressortemperatur der Vordruck und der Gegendruck des Kompressors 2 berücksichtigt wird. Vorzugsweise wird während des Kompressorlaufes nach jeder vergangenen Zeiteinheit  $dt$  die aktuelle Kompressortemperatur  $t$  um einen Wert  $dT$   
15 angepasst, der von der Differenz  $p_{\text{gegen}} - p_{\text{vor}}$  zwischen dem Gegendruck und dem Vordruck abhängig ist.

Fig. 1